

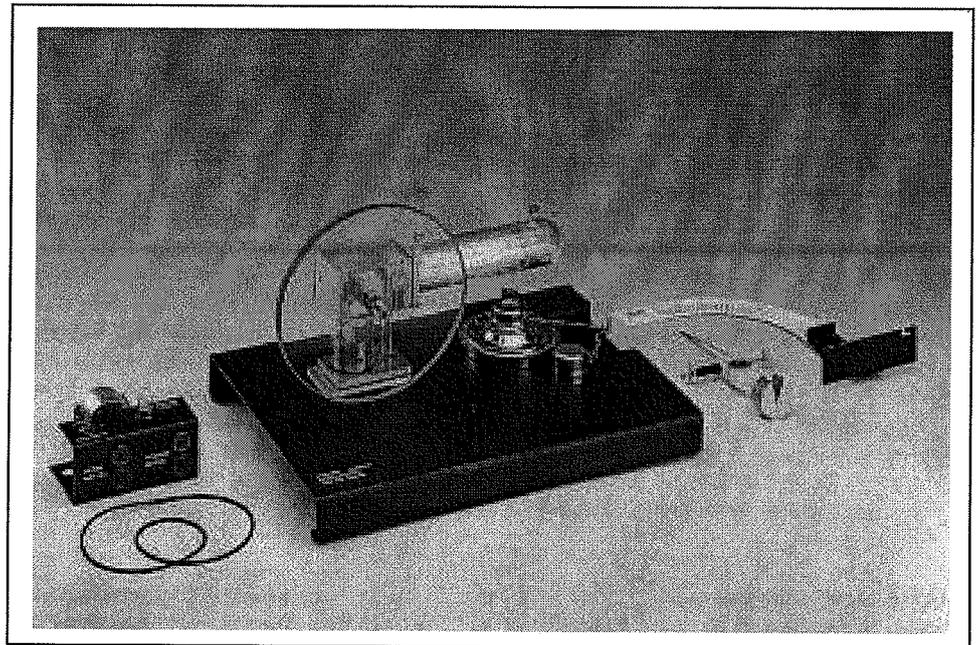


Moteur Stirling, transparent
Unité moteur/générateur
Torsiomètre

Ø ENSC 490

04372.00
04372.01
04372.02

Mode d'emploi



1 OBJET ET PROPRIETES CARACTERISTISQUES

Un moteur Stirling (moteur à air chaud) sert à la transformation d'énergie thermique en énergie mécanique. Lorsqu'il est entraîné mécaniquement, il fonctionne en pompe à chaleur ou en machine frigorifique; il permet donc de montrer d'une façon remarquable la réversibilité des processus thermodynamiques. Le mode de fonctionnement du moteur Stirling est expliqué sur la figure 2.

Le piston moteur et le piston de détente sont disposés en V et décalés de 90°. Le piston moteur (A) est de constitution métallique, il est exactement ajusté au tube en verre. Le piston de détente (V) en verre assume en même temps la fonction de récupération (régénération), une fonction primordiale dans le principe de fonctionnement d'un moteur

Stirling: il refroidit le courant de gaz chaud, accumule son énergie et la recède au gaz froid refoulé.

A l'aide de l'unité moteur/générateur l'énergie mécanique produite par le moteur Stirling est transformée en énergie électrique (lumière). Inversement, cette unité permet aussi l'entraînement mécanique du moteur Stirling.

A l'aide du torsiomètre on peut appliquer au moteur Stirling un couple déterminé. En outre, en mesurant la vitesse de rotation, on peut en calculer la puissance mécanique cédée.

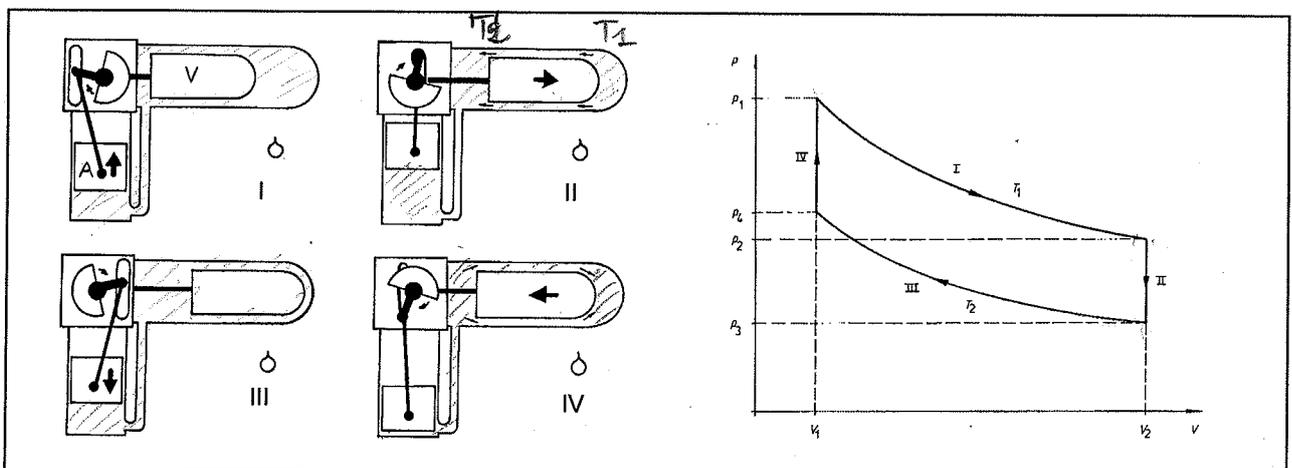


Fig. 2: Mode de fonctionnement du moteur Stirling.

- 1) Détente isotherme, apport de chaleur, cession de travail
- 2) Cession de chaleur isochore, pas de travail
- 3) Compression isotherme, cession de chaleur, absorption de travail
- 4) Absorption isochore de chaleur, pas de travail

$$\begin{aligned}
 V_1 &\rightarrow V_2 & p_1 &\rightarrow p_2 & \text{et } T_1 &= \text{const.} \\
 T_1 &\rightarrow T_2 & p_2 &\rightarrow p_3 & \text{et } V_2 &= \text{const.} \\
 V_2 &\rightarrow V_1 & p_3 &\rightarrow p_4 & \text{et } T_2 &= \text{const.} \\
 T_2 &\rightarrow T_1 & p_4 &\rightarrow p_1 & \text{et } V_1 &= \text{const.}
 \end{aligned}$$

2 DESCRIPTION ET MODE OPERATOIRE

2.1 Moteur Stirling 04372.00

La fourniture comprend:

- 1 moteur Stirling
- 1 plaque de base bleue
- 1 brûleur à alcool
- 1 Clé Inbus
- 4 vis à tête moletée
(2 dans la plaque de base,
2 sur le moteur Stirling)

Le moteur Stirling est placé sur la plaque de base et fixé par le bas par deux vis à tête moletée. Deux autres vis à tête moletée, sur le dessus de la plaque de base, servent à fixer l'unité moteur/générateur ou l'échelle graduée du torsiomètre.

Le volant est en général monté fixe sur l'axe. Il peut être dégagé à l'aide de la clé Inbus. Après un remontage du volant, l'axe devra être tiré légèrement vers l'extérieur et il ne doit subsister entre le volant et le corps du moteur qu'un petit interstice de l'épaisseur d'une feuille de papier pour que l'axe n'ait pas trop de jeu en marche.

Dans le cylindre de détente se trouvent deux points de mesure de température. Les douilles métalliques comportent une ouverture d'un diamètre de 0,6 mm pouvant recevoir des thermocouples NiCr-Ni gainés. (N° de cde 13615.01)

2.2 Unité moteur/générateur 04372.01

La fourniture comprend:

- 1 moteur/générateur sur une équerre de montage
- 1 courroie
- 1 lampe à incandescence 4 V / 40 mA

L'unité moteur/générateur possède deux poulies à corde de taille différente, permettant de montrer l'influence du rapport de transmission sur la puissance et la vitesse de rotation du moteur Stirling. La liaison avec le volant est assurée par une courroie.

Un commutateur permet de choisir entre la marche moteur et la marche générateur.

Lors du fonctionnement en générateur la lampe à incandescence est allumée. Parallèlement à la douille de la lampe se trouvent deux douilles de sortie permettant d'y raccorder une résistance réglable.

En position „0“ du commutateur, le générateur n'est pas en charge.

Lors d'un fonctionnement en moteur, on applique une tension continue aux douilles d'entrée.

2.3 Torsiomètre 04372.02

La fourniture comprend:

- 1 aiguille indicatrice
- 1 échelle graduée

La pièce métallique intérieure de l'aiguille (frein de Prony avec poids d'inclinaison) est fixée solidement à l'aide de la clé Inbus devant le grand volant sur l'axe du moteur Stirling. Le frottement entre la pièce métallique et l'aiguille peut être modifié par la vis de réglage sur l'aiguille.

Lorsque le moteur Stirling tourne, l'aiguille est enfilée avec précaution sur l'axe. Alors, le frottement **doit être lentement** augmenté, toutefois il ne doit pas atteindre la valeur bloquant le moteur. Le couple réglé est affiché sur l'échelle graduée.

3 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Moteur Stirling

Vitesse de rotation à vide	min. 800/min
Puissance max.	env. 1 W

Unité moteur/générateur

Tension moteur	max. 12 V-
Lampe à incandescence	4 V / 40 mA
Diamètre de la courroie	150 mm

Torsiomètre

Plage de mesure	$25 \cdot 10^{-3}$ Nm
Résolution	$1 \cdot 10^{-3}$ Nm

4 INDICATIONS PARTICULIERES

Le piston moteur ne doit pas être huilé, il est exactement ajusté dans le cylindre en verre. L'huile augmenterait le frottement et diminuerait ainsi la puissance du moteur.

Le cylindre de détente est monté pour qu'il existe un jeu régulier entre lui et le piston et que la puissance soit optimisée. Les vis de fixation ne doivent donc pas être modifiées.

Lorsque la puissance du moteur Stirling baisse, la tige du piston de détente doit être munie d'une goutte d'huile de machine très fluide. Pour ce faire, utiliser une seringue (NP de cde 02593.03) avec une canule (NP de cde 02597.04) pour qu'aucune goutte d'huile ne parvienne sur le piston moteur.

5 LISTE DES APPAREILS

Moteur Stirling, transparent	04372.00
Unité moteur/générateur	04372.01
Torsiomètre	04372.02
Accessoires pour marche en moteur solaire	04372.03
Cheminée pour moteur Stirling	04372.04
Unité de détection pVn	04371.00
Appareil de mesure $pVnT$	04371.97
Thermocouple NiCr-Ni, gainé	(2x) 13615.01
Oscilloscope 20 Mhz, 2 canaux	11454.93
Câble blindé BNC	(2x) 07542.11
Rhéostat 330 Ω	06116.01
Fils de connexion	

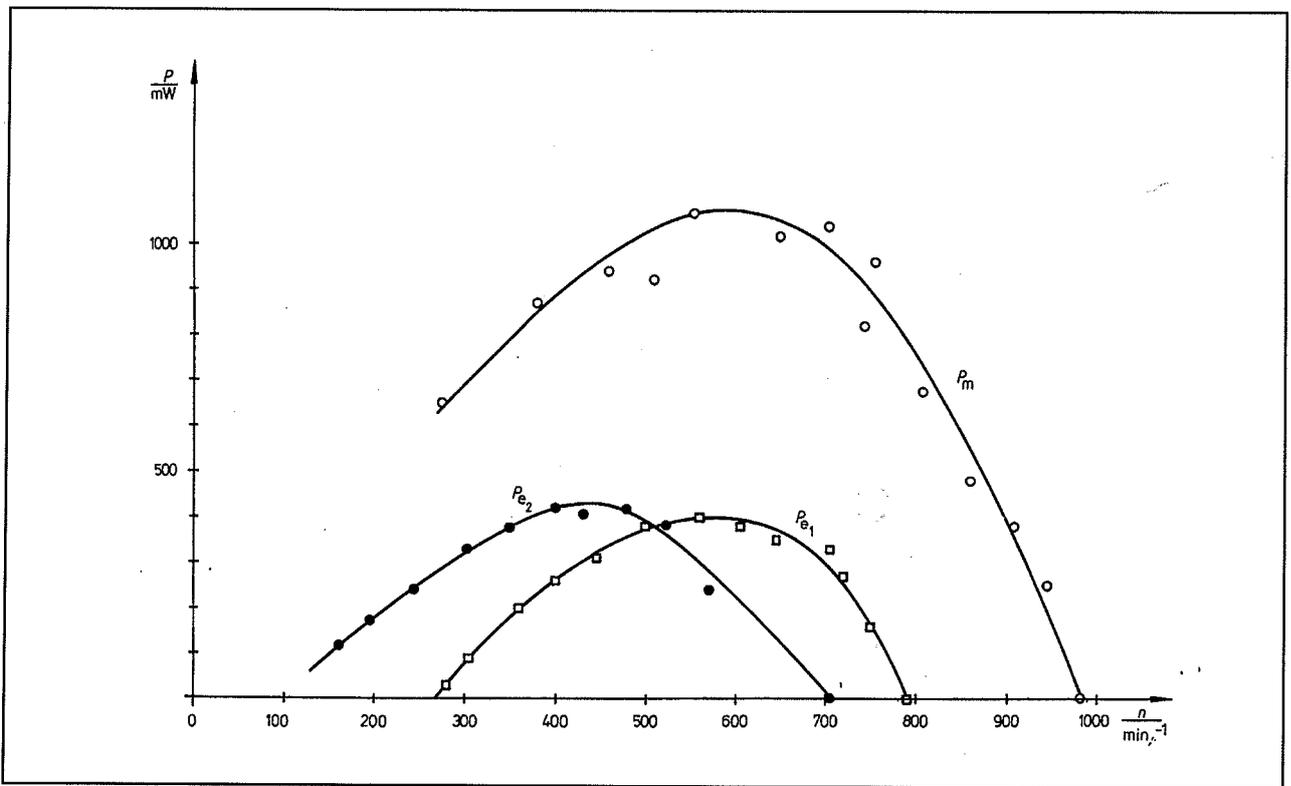


Fig. 3: Puissance mécanique P_m et puissance électrique P_e en fonction de la vitesse de rotation (P_{e1} = grande poulie, P_{e2} = petite poulie)

6 EXPERIENCES

Les appareils complémentaires bien accordés au moteur Stirling permettent de nombreuses expériences qualitatives et quantitatives.

- Transformation: Chaleur - énergie méc. - lumière
- Fonctionnement en pompe à chaleur ou en machine frigorifique
- Puissance mécan. en fonction de la vitesse de rotation (Fig. 3)
- Puissance électr. en fonction de la vitesse de rotation (Fig. 3)
- Mesure des températures
- Relevé du diagramme pV

7 BIBLIOGRAPHIE:

Travaux pratiques Enseignement supérieur Physique, Partie 5, expérience 3.19

Komm.Nr.: KOM044777

Auftrag: LAU001304-1

Empfänger: Phywe Systeme GmbH (FRANKREICH)
Grand Route 79
BE - 4610 Beyne-Heusay

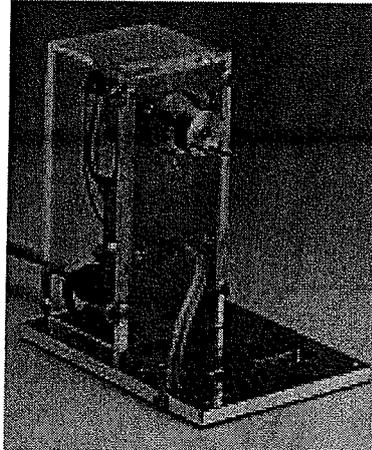
Artikel	Komponente	Beschreibung
04372-00		MOTEUR STIRLING, TRANSPARENT
04372-01		UNITE MOTEUR/GENERATEUR
04372-02		TORSIOMETRE
04371-97		METRE P. MOTEUR STIRLING PVNT
04371-00		UNITE DETECTEUR PVN MOT. STIRL



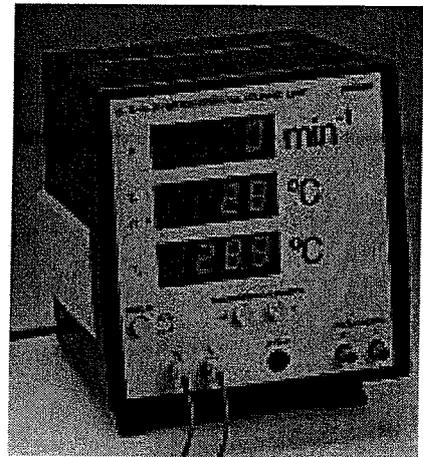
Unité de détection pVn
Appareil de mesure pour moteur Stirling, $pVnT$

04371.00
04371.97

Mode d'emploi



04371.00



04371.93

1 OBJET ET PROPRIETES CARACTERISTIQUES

L'unité de détection et l'appareil de mesure ont été spécialement étudiés pour le moteur Stirling transparent 04372.00. Ils servent à saisir et à afficher toutes les valeurs des états thermodynamiques de ce moteur Stirling.

Pression

Un capteur sensible à compensation de température saisit continuellement la pression dans le moteur Stirling.
Signal de sortie: Valeur de tension analogique.

Volume et vitesse de rotation

Le mouvement du piston moteur est exploré par un détecteur incrémentiel accouplé au vilebrequin. Les signaux du détecteur permettent de calculer la vitesse de rotation et les volumes d'air momentanés dans le moteur Stirling.

Signal de sortie pour la vitesse de rotation: Affichage numérique à 4 chiffres

Signal de sortie du volume: Valeur de tension analogique
Affichage d'un diagramme pV , par exemple, à l'aide d'un oscilloscope.

Température

Les températures dans les parties froide et chaude du cylindre de détente sont mesurées par l'intermédiaire de deux piquages de mesure à l'aide de thermocouples NiCr-Ni.

Sortie: deux display avec indication numérique à 4 chiffres
Display T_1 peut être commuté sur une mesure différentielle $T_1 - T_2$.

2 MONTAGE DE L'UNITE DE DETECTION pVn

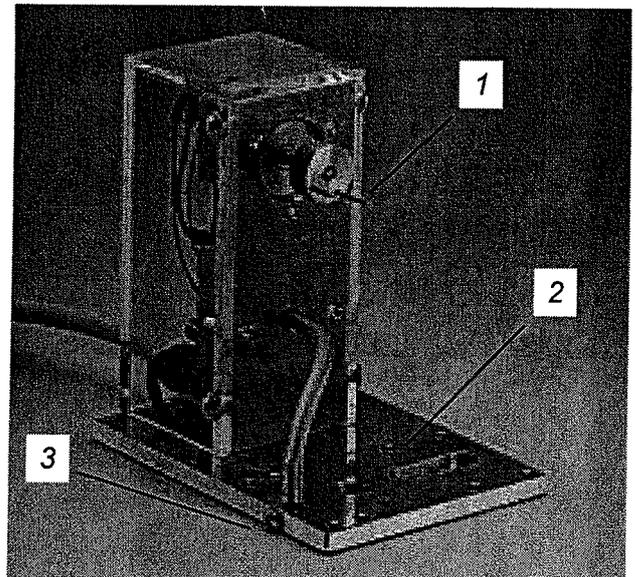
Pour pouvoir effectuer les mesures de pression, de volume et de vitesse de rotation du moteur Stirling, l'unité de détection et le moteur Stirling doivent être reliés solidement entre eux. Un entraîneur (1) est fixé sur l'axe du détecteur. Il peut être libéré et bloqué à l'aide d'une clé Inbus (fournie

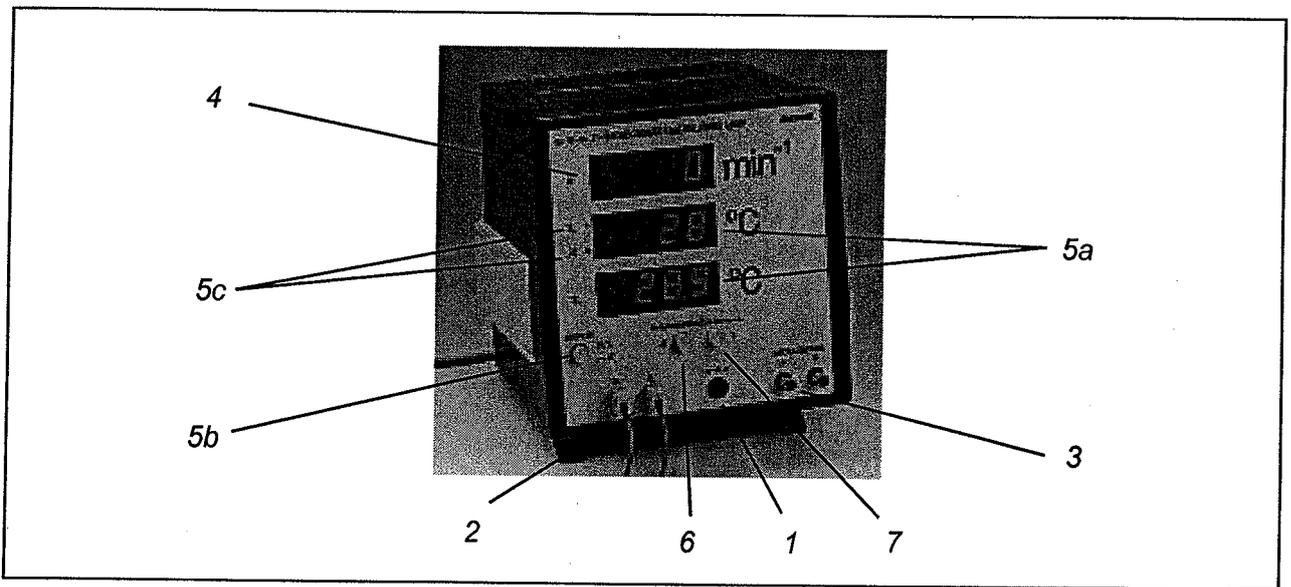
avec le moteur Stirling). Avant le montage, cet entraîneur devra être poussé complètement vers la tour de mesure.

Le moteur Stirling est détaché de sa plaque de base bleue. Puis, la plaque de montage est retirée de sa face inférieure à l'aide d'un tournevis. Ensuite, le moteur Stirling est fixé sur la plaque de montage de l'unité de détection (2).

L'entraîneur du détecteur incrémentiel est poussé vers le moteur Stirling, accouplé à la masse d'inertie fongiforme et bloqué sur l'axe. Pour terminer, le moteur Stirling avec la tour de détection est remonté et revissé sur la plaque de base bleue.

Pour la mesure de la pression, le capteur de pression doit être relié par l'intermédiaire d'un tuyau caoutchouc à paroi épaisse avec l'olive de raccordement de la plaque de montage (3).



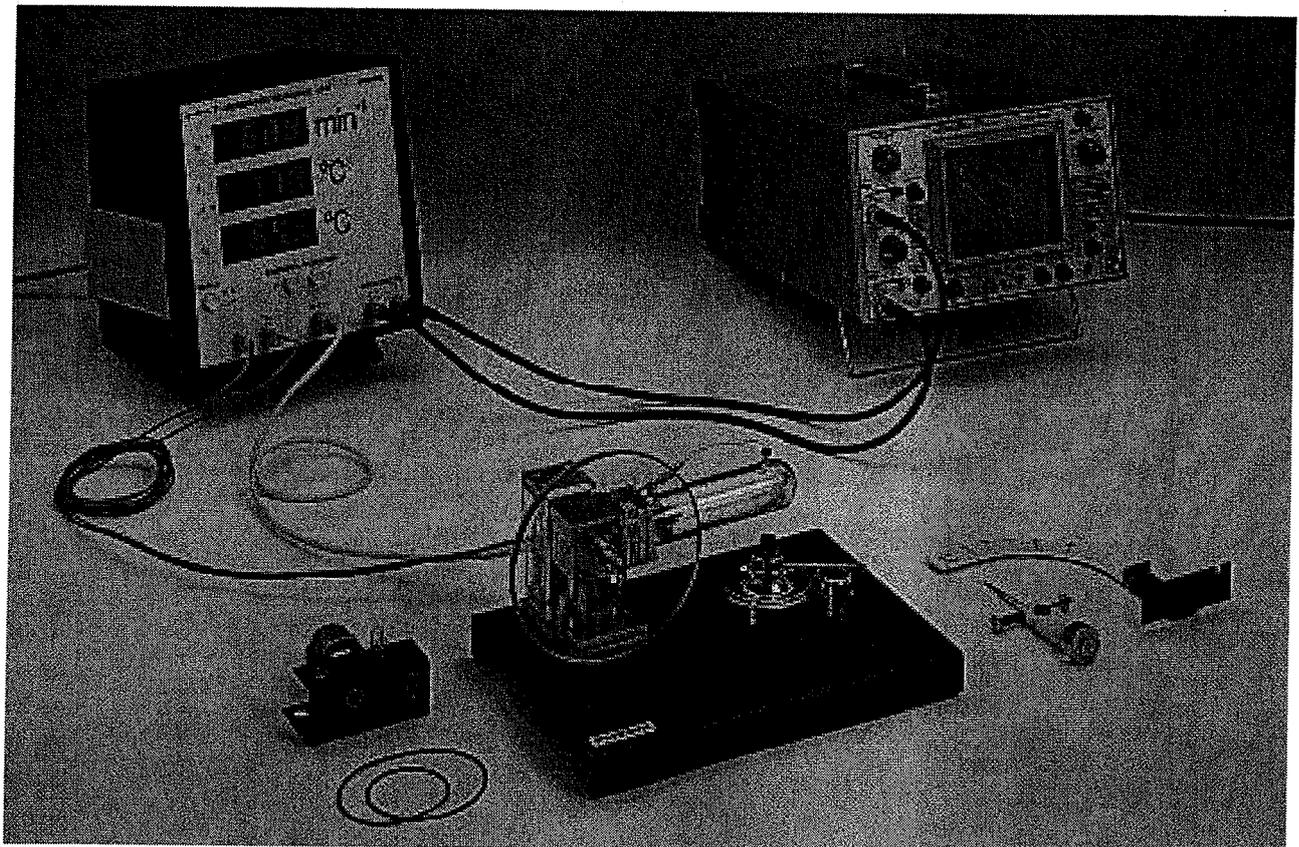


3 DESCRIPTION DE L'APPAREIL DE MESURE $pVnT$

- 1 *Douille à diode 8 pôles*
pour le raccordement de l'unité de détection pVn .
Capteur de pression et détecteur incrémentiel sont
alimentés par cette douille à la tension nécessaire.
Les signaux de mesure sont dirigés vers l'appareil de
mesure pour être traités et affichés.
- 2 *Entrées*
pour les thermocouples NiCr-Ni (NP de cde
13615.01)
- 3 *Sorties analogiques*
pour la pression resp. le volume pour la représen-
tation du diagramme pV , par exemple avec l'aide d'un
oscilloscope ou d'une interface d'ordinateur.
- 4 *Affichage numérique*
pour la vitesse de rotation

- 5 *Affichages numériques*
pour les températures (5a). Dans le display du milieu,
on peut afficher soit la température T_1 soit la dif-
férence $T_1 - T_2$. La sélection se fait par la touche à
encliquetage „Display“ (5b). Deux diodes lumineuses
(5c) indiquent laquelle des deux valeurs est repré-
sentée.
- 6 *Touche*
pour l'étalonnage des deux sondes de températures
(voir point 4 „Etalonnage lors de l'enclenchement de
l'appareil“.)
- 7 *Touche*
pour confirmer (valider) le positionnement du piston
moteur pour le calcul du volume (voir point 4 „Etalon-
nage lors de l'enclenchement de l'appareil“)

Montage expérimental



4 ETALONNAGE DE LA TEMPERATURE ET DU VOLUME LORS DE L'ENCLICHEMENT DE L'APPAREIL

Pour effectuer des mesures relatives, les thermocouples NiCr-Ni possèdent une bonne précision (0,1 K), toutefois les valeurs absolues de deux sondes peuvent s'écarter entre-elles jusqu'à 6°C. Un étalonnage est donc nécessaire en cas de la mesure différentielle de température $T_1 - T_2$.

Un étalonnage est également indispensable lors de la mesure des volumes:

Le volume momentané de l'air dans le moteur Stirling est déterminé à partir de la position du piston moteur, c'est-à-dire à partir de la position angulaire du vilebrequin à l'aide du palpeur détecteur incrémentiel. Dans ce cas, il faut procéder à une prédétermination d'une valeur d'origine.

Température

Immédiatement après sa mise en route, l'appareil effectue toujours un court autotest de tous les composants. Si ce test est concluant, le display du milieu affiche l'ordre „CAL“.

- Les deux sondes de température raccordées doivent alors être amenées à la même température (p. ex. d'un bain-marie), puis il faut actionner la touche (6) „Calibrer ΔT “.

- L'appareil saisit les deux valeurs de mesure et mémorise leur différence jusqu'à la coupure de l'appareil.

Ce calibrage n'a aucune répercussion sur l'affichage des valeurs absolues.

Au cas d'utilisation d'une seule sonde de température, ou si la différence de température ne présente pas d'intérêt, la touche peut être actionnée pour n'importe quelle température de la sonde.

Volume

Après l'étalonnage de la température, le display supérieur affiche l'indication „ot“ (= point mort supérieur = PMS).

- Le détecteur incrémentiel de l'unité de détection doit alors être monté solidement sur le vilebrequin du moteur Stirling et l'unité de détection doit être reliée à la douille 8 pôles de l'appareil de mesure.

- Puis, le piston moteur est amené à la position pour laquelle dans le moteur Stirling règne le plus petit volume, c'est-à-dire le piston moteur se trouve à son point le plus bas. La touche (7) „Calibrer V“ est actionnée pour cette position.

- Un étalonnage erroné amène un offset dans le calcul du volume, d'où une déformation du diagramme pV

Les touches pour les opérations d'étalonnage n'ont plus aucune fonction pendant le fonctionnement suivant de l'appareil. Un nouvel étalonnage ne peut être réalisé qu'après une extinction et un réenclenchement de l'appareil.

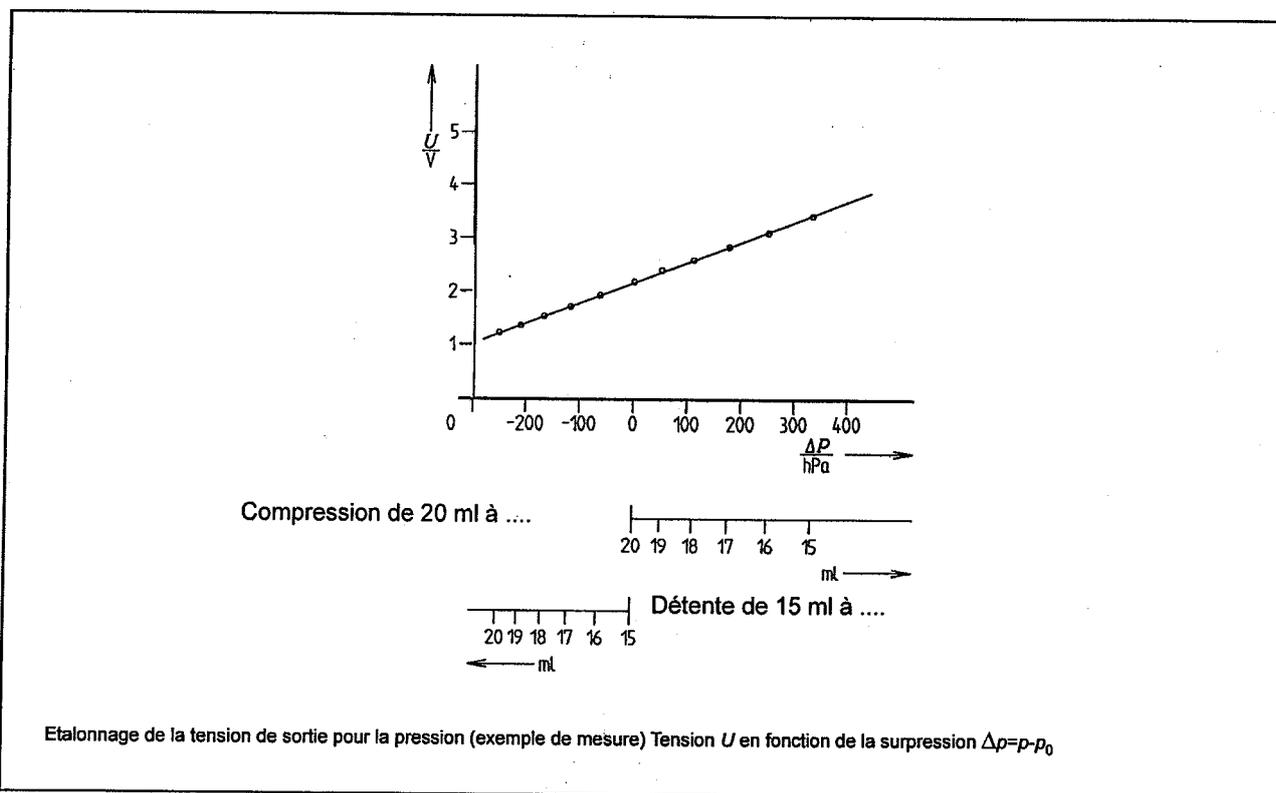
5 ETALONNAGE DE LA TENSION DE SORTIE POUR LA PRESSION

Le capteur de pression mesure la différence de pression par rapport à la pression de l'air p_0 . Sa tension de sortie est amplifiée par l'appareil de mesure, et à la pression atmosphérique p_0 une tension offset est affectée. Pour que l'appareil de mesure du moteur Stirling soit indépendant d'une unité de détection déterminée, l'amplification et l'offset de l'appareil de mesure sont réglés pour les caractéristiques propres du capteur de pression.

Pour exploiter le diagramme pV , il faudra donc étalonner la tension de sortie de la pression de l'appareil de mesure en fonction du couple capteur-appareil de mesure existant. Ceci peut être exécuté facilement, par exemple à l'aide d'une seringue à gaz.

Pour ce faire, on retire le tuyau souple de l'olive de la plaque de montage et on détermine d'abord la tension pour la pression atmosphérique p_0 .

Le piston d'une seringue à gaz fermant hermétiquement est, par exemple, retiré de 20 ml, puis relié par l'intermédiaire du tuyau au capteur. En repoussant le piston vers l'intérieur en opérant par pas de 1 ml (p. ex. jusqu'à la marque des 15 ml) la pression peut facilement être augmentée. La compression est isotherme. La plage de la phase en dépression est mesurée respectivement par une détente, par exemple, en opérant de 15 ml par pas à pas jusqu'à 20 ml. Le volume du tuyau de liaison d'env. 0,07ml peut être négligé. La figure montre un exemple de mesure.



6 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Pression

Les tensions de sortie du capteur de pression sont amplifiées par l'appareil de mesure.

Caractéristiques du capteur de pression (pour une tension de service de 5 V):

Sensibilité	typ. $44 \cdot 10^{-6}$ V/hPa (min $28 \cdot 10^{-6}$ V/hPa)
Linéarité	typ. 0,15% (max. 0,35%)
Tension pour p_0	typ. 0 mV (+/-25 mV)
Caractéristiques de l'appareil de mesure:	
Facteur d'amplification:	114
Tension de sortie:	typ. $5,0 \cdot 10^{-3}$ V/hPa (min $3 \cdot 10^{-3}$ V/hPa)
pour p_0	typ. 2,5 V (+/-2,8 V)

Vitesse de rotation et volume

La valeur de la tension pour le volume est calculée à partir de la position du détecteur incrémentiel. Pour ce faire, on affecte lors de l'opération d'étalonnage la valeur 0 V au plus petit volume V_{\min}

Détecteur incrémentiel:	256 impulsions/tour
Affichage vitesse de rotation:	max. 1999 min ⁻¹
Tension de sortie:	4,2 V/cm ³
pour des volumes	$V_{\min} (32 \text{ cm}^3) = 0,0 \text{ V}$ $V_{\max} (44 \text{ cm}^3) = 5,0 \text{ V}$

Température

Lors d'un fonctionnement en moteur pendant lequel règne sur la partie chaude du moteur Stirling un gradient de température (flamme), il est judicieux de limiter la mesure de température à une précision de 1°C. La position du point de mesure a été choisie en fonction de relevés thermographiques pour qu'en cet endroit on soit en présence d'une température moyenne du gradient.

Lors d'un fonctionnement en pompe à chaleur, resp machine à froid, les variations de température du système sont nettement plus petites. Pour cette raison, on a choisi pour le deuxième point de mesure de la température une résolution de 0,1°C.

T_1 et ΔT :	
Plage de mesure:	-10°C...+400°C
Résolution:	1°C
T_2 :	
Plage de mesure:	-10,0°C...+99,9°C
Résolution:	0,1°C

7 LISTE DES APPAREILS

Appareil de mesure pour moteur Stirling $pVnT$	04371.97
Unité de détection, pVn	04371.00
Moteur Stirling, transparent	04372.00
Unité moteur/générateur	04372.01
Torsiomètre	04372.02
Cheminée pour moteur Stirling	04372.04
Thermocouple NiCr-Ni, gainé	(2x) 13615.01
Oscilloscope, 20 Mhz, 2 canaux	11454.93
Câble blindé BNC, L = 500 mm	07542.11
Seringue 20 ml, LUER, 1 pièce de	02591.03

Pour le relevé du diagramme pV , on peut utiliser à la place d'un oscilloscope une interface d'ordinateur avec un programme d'un traceur XY.

8 BIBLIOGRAPHIE

Travaux pratiques Enseignement supérieur Physique, Partie 5, expérience 3.19.